

TP 5 - Étude d'un amplificateur différentiel

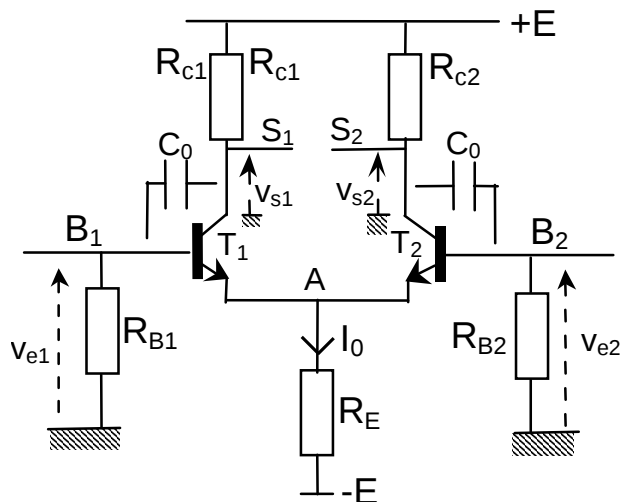
Dans ce T. P., on réalise un amplificateur différentiel à l'aide de deux transistors indépendants (non forcément parfaitement appariés du point de vue des caractéristiques et des paramètres : gain β , transconductance g_m). Il ne faut donc pas s'attendre à un montage de qualité ; le but recherché est essentiellement de vous montrer les défauts et les limites de ce montage de façon à dégager les impératifs à satisfaire pour améliorer le montage.

Ce type de montage correspond typiquement à l'étage d'entrée d'un amplificateur opérationnel.

L'essentiel des manipulations aura lieu sur une maquette pré-câblée pour laquelle des cavaliers permettent de faire varier certaines résistances et de modifier la structure de l'amplificateur en passant de la structure élémentaire à des structures plus élaborées. Nous allons d'abord présenter les différentes structures possibles avant de préciser le déroulement des manipulations.

Amplificateur différentiel : structure de base

Il est constitué de deux transistors (pour les applications numériques : $\beta = 150$) fonctionnant en émetteur commun, les émetteurs étant couplés par une résistance R_E , selon le schéma suivant :



- $E = 15 \text{ V}$
- R_{B1} et R_{B2} servent à polariser les bases à un potentiel fixe même en l'absence de générateur sur l'entrée correspondante.

- en cas d'oscillation du montage, on peut placer une capacité de l'ordre de 47 pF entre base et collecteur sur l'un ou l'autre des transistors ou sur les deux.

Dans certaines conditions de fonctionnement qui vont apparaître lors du TP, les signaux de sortie V_{s1} et V_{s2} dépendent de manière linéaire des signaux d'entrées V_{e1} et V_{e2} . Il est alors possible de mener la décomposition suivante, qui permet de définir les gains en mode différentiel A_{d1} et A_{d2} , ainsi que les gains en mode commun A_{c1} et A_{c2} :

$$\text{en } S_1 : V_{s10} \quad \text{et} \quad v_{s1} = A_{c1} \frac{(v_{e1} + v_{e2})}{2} + A_{d1}(v_{e1} - v_{e2}) \quad (1)$$

$$\text{en } S_2 : V_{s20} \quad \text{et} \quad v_{s2} = A_{c2} \frac{(v_{e1} + v_{e2})}{2} + A_{d2}(v_{e1} - v_{e2}) \quad (2)$$

polarisation

terme de mode commun

terme différentiel

Si tous les composants sont parfaitement appariés : $A_{c1}=A_{c2}$ et $A_{d1}=A_{d2}$

I. Etude de la polarisation

I.1 Préparation.

Calculer les résistances $R_{C1} = R_{C2}$ et R_E , et choisir $R_{B1} = R_{B2}$ pour assurer les conditions de polarisation suivantes :

$$V_{B10} = V_{B20} \sim 0 \text{ (à } 0,1V \text{ près)}$$

$$V_{S10} = V_{S20} = V_{S0} = E / 2$$

$$I_{C10} = I_{C20} = I_0/2 = 0,5 \text{ mA}$$

Ecrire les deux équations de polarisation (équations (1) et (2)).

I.2 Manipulation.

- Dans la structure de base, mettre en place les résistances R_{C1} , R_{C2} et R_E calculées en préparation ; **sans brancher de générateur à l'une et l'autre des entrées**, mesurer V_{S10} et V_{S20} , I_{C10} et I_{C20} pour caractériser le point de repos.
- Mesurer la tension V_A .

II. Fonctionnement de la paire différentielle

II.1 Préparation.

Etablir le schéma petits signaux de la paire différentielle.

a - Etude en mode commun :

⇒ étude en petits signaux

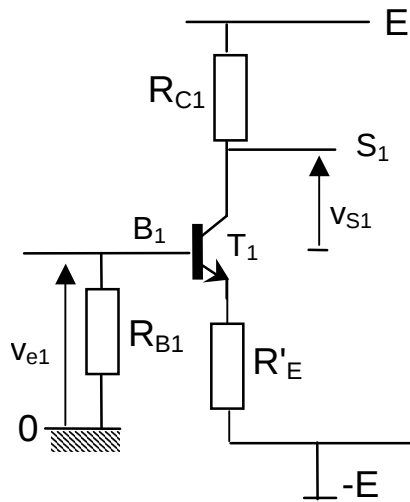
Rappeler l'expression du gain de mode commun (on se réfèrera à l'étude petits signaux vue en TD). Faire l'application numérique.

Pour avoir un très bon amplificateur différentiel on cherche à avoir A_{mc} le plus petit possible. Que doit-on faire pour cela ?

⇒ étude en grands signaux

On se place en mode commun c'est à dire que les bases des transistors sont excitées avec la même tension d'entrée $v_{mc} = v_{e1} = v_{e2}$. Le gain de mode commun s'écrit donc : $A_C = A_{C1} = V_{S1}/V_{e1}$

On peut montrer que dans ces conditions l'analyse du montage se réduit au montage ci-contre avec $R'_E = 2 R_E$:



- En tenant compte des relations relatives au transistor exprimer V_{S1} en fonction de E , β , v_{mc} , R_C , R_E , et v_{B1E1} (éq. 3)

V_{S1} est la somme d'une tension de polarisation V_{S0} et d'une tension variable v_s . En considérant les deux équations de polarisation et l'équation (3), retrouver le gain commun petits signaux : $A_C = A_{C1} = v_s / v_{mc}$

b - Etude en mode différentiel parfait :

$\Rightarrow$ étude en grands signaux

Rappeler l'expression finale de la tension différentielle de sortie $V_{sd} = V_{s1} - V_{s2}$ en fonction de la tension différentielle d'entrée. Représenter la courbe sur du papier millimétré. Dans quelle zone le fonctionnement est-il linéaire ?

$\Rightarrow$ étude en petits signaux

Rappeler brièvement les étapes de calcul pour déterminer le gain de mode différentiel.

Rappeler l'expression du mode commun A_{d1} pour la sortie $S1$ en fonction de β , R_{C1} et r_{BE} . Faire l'application numérique.

II.2 Mesures.

L'ensemble des mesures s'effectuera à basse fréquence, typiquement 30 Hz, afin d'éviter les problèmes liés à la réponse en fréquence.

a - en mode commun :

Se placer en mode commun (relier $B1$ et $B2$) et attaquer l'entrée unique par un signal triangulaire v_{ec} d'amplitude 10V :

- Visualiser les courbes de transfert à l'oscilloscope ($v_{s1} = f(v_{mc})$ puis $v_{s2} = f(v_{mc})$), en mode XY (pour cela faut-il se mettre en couplage AC ou DC ?) ; interpréter les formes observées ; délimiter sur chacune des courbes la zone de fonctionnement normal des transistors et la reporter quantitativement sur du papier millimétré.

- En déduire V_{s10} et V_{s20} ; les comparer aux valeurs obtenues précédemment au I-2-(justifier les écarts éventuels).

- En déduire les coefficients d'amplification de mode commun : A_{C1} et A_{C2} .

- Tracer sur cette même courbe la droite de la tension de base en fonction de l'excitation v_{mc} . Expliquer les différents régimes observés en utilisant les connaissances acquises lors des précédents TP sur le transistor.

- Relever les signaux v_{s1} et v_{s2} en fonction du temps et interpréter les distorsions observées.

b - en mode intermédiaire :

Expérimentalement il est impossible de se placer en mode différentiel parfait c'est pourquoi les mesures se feront en mode intermédiaire c'est à dire $v_{e2} = 0$ et v_{e1} attaqué par un signal que l'on prendra dans le cadre de l'étude comme triangulaire et d'amplitude 5 V.

- Visualiser les courbes de transfert à l'oscilloscope, en mode XY (pour cela faut-il se mettre en couplage AC ou DC ?) ; interpréter les formes observées ; délimiter sur chacune des courbes les diverses zones de fonctionnement du montage : en comparateur ou en amplificateur ; noter les états correspondants des transistors.
- Ajuster l'amplitude d'entrée de façon à visualiser de façon précise, sur chacune des courbes, la zone de fonctionnement linéaire et la reporter quantitativement sur du papier millimétré.
- En déduire V_{S10} et V_{S20} ; les comparer aux valeurs obtenues précédemment (justifier les écarts éventuels).
- compte tenu des valeurs des coefficients d'amplification de mode commun déterminées précédemment, déduire de ces courbes les coefficients d'amplification différentiels A_{d1} et A_{d2} .
- Relever les signaux v_{s1} et v_{s2} en fonction du temps et interpréter les distorsions observées.

c - Synthèse :

- calculer les taux de réjection en mode commun :

$$F_1 = 20 \log \left| \frac{A_{d1}}{A_{c1}} \right| \text{ et } F_2 = 20 \log \left| \frac{A_{d2}}{A_{c2}} \right|, \text{ exprimés en dB}$$

- que faut-il faire pour améliorer ces grandeurs ?

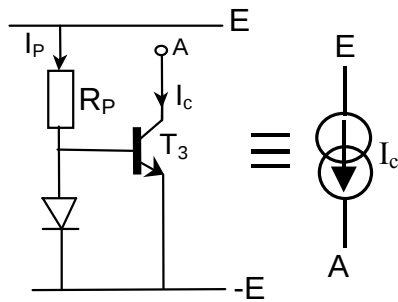
III. Amélioration des performances de la paire différentielle

On peut améliorer certaines performances du montage principalement en agissant sur les composants passifs :

- la résistance R_E : en la remplaçant par une source de courant
- les résistances R_C en les remplaçant par des charges actives

III.1 Préparation

Soit le montage type source de Widlar (miroir de courant) suivant :

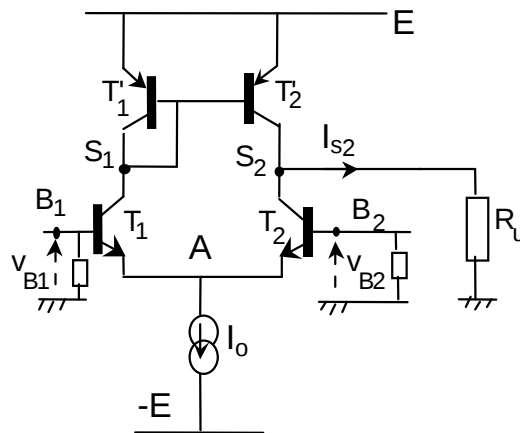


- Comment réalise-t-on la diode?

- Pour $E = 15\text{ V}$,
calculer R_p pour que $I_p = I_c = 1\text{ mA}$

III.2 Manipulation

Brancher le miroir de courant à l'émetteur et la charge active aux collecteurs des transistors comme cela est indiqué sur la figure suivante.



- Se placer en mode commun (relier B_1 et B_2) et attaquer l'entrée unique par un signal triangulaire v_{ec} d'amplitude 10 V .
- Visualiser les courbes de transfert à l'oscilloscope, en mode XY (pour cela faut-il se mettre en couplage AC ou DC ?). En déduire les coefficients d'amplification de mode commun : A_{c1} et A_{c2} . Conclusion.
- Faire $v_{e2} = 0$ et attaquer l'entrée 1 par un signal triangulaire v_{e1} d'amplitude 5 V (**on remarquera que l'on n'est pas en mode différentiel**).
- Visualiser les courbes de transfert à l'oscilloscope, en mode XY (pour cela, faut-il se mettre en couplage AC ou DC ?) ; en déduire les coefficients d'amplification de mode différentiel : A_{d1} et A_{d2} . Conclusion ?
- Quel intérêt a-t-on à réaliser cette structure complète sous la forme d'un circuit intégré ?